

ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Лежнин Н.В., Хотинов В.А., Селиванова О.В.

Научный руководитель – проф., д.т.н. Фарбер В.М.

Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Условия прокладки магистральных газопроводов требуют высокого уровня механических свойств современных трубных сталей. Одним из способов удовлетворения этих требований является получение сталей с ультрамелким зерном ($\sim 2-3$ мкм), по технологии контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением. Однако существует гипотеза о деградации свойств при протекании в этих сталях деформационного (закалочного) старения – при выходе атомов углерода, азота из решетки феррита, бейнита (мартенсита), пересыщенного по ним в результате ускоренного последеформационного охлаждения. Выход атомов С (N) из твердого раствора приводит к образованию на дислокациях и границах зерен сегрегаций (атмосфер Коттрелла), которые впоследствии трансформируются в дисперсные выделения типа $Me_3(C,N)$. Эти эффекты могут усиливаться в ходе технологических операций (гибка, экспандирование, нанесение изоляционных покрытий и т.д.) при производстве и монтаже труб.

Для изучения влияния технологических процессов на механические свойства был проведен ряд обработок, моделирующих условия, в которых находится металл труб. Старение при температурах 100, 150, 250°C, соответствующие примерным температурам нанесения защитных покрытий на предприятиях, предварительная деформация $\varepsilon=2\%$, моделирующая возможную пластическую деформацию в ходе производства и монтажа труб, с последующим старением при температурах 150, 200°C. Механические свойства изучались при испытаниях на растяжение и ударный изгиб при температурах 20, -20, -40 и -60°C.

Установлено, что нагрев на температуры ниже 100°C не оказывает заметного влияния на прочностные и вязкие свойства стали. Однако, они склонны к деформационному старению при нагреве на температуры $T_n \geq 150$ °C, о чем свидетельствует появление на диаграммах растяжения зуба и площадки текучести, и уменьшении участка равномерной деформации.

Показано, что повышение температуры отжига до T_n 250°C ($\tau_n=30$ мин.) и слабая холодная пластическая деформация ($\varepsilon=2\%$) с последующим нагревом на 200 °C ($\tau_n=30$ мин.) заметно усиливают эффект

деформационного старения, что приводит к сравниванию величин предела текучести и временного сопротивления разрушению ($\sigma_T^H \approx \sigma_B$), и снижению равномерного удлинения практически до нуля ($\delta_p \approx 0\%$). Следовательно, технологические процессы изготовления сварной трубы (гибка, экспандирование и т.д.), вносящие в металл повышенную плотность дефектов, и в значительной степени, способствуют деформационному старению.

После нагрева на $T_H \leq 150^\circ\text{C}$ параметры трещиностойкости (KCV, ход серийной кривой, T_{xp}) сохраняются на том же уровне, что и в исходном состоянии. Нагрев на $T_H = 250^\circ\text{C}$ ($\tau_H = 30$ мин.), несколько уменьшает KCV до уровня ~ 370 Дж/см² при $T_{исп} < -40^\circ\text{C}$, однако, делает серийную кривую практически не чувствительной к $T_{исп}$ в диапазоне температур $-20 \dots -80^\circ\text{C}$, смещая T_{xp} ниже -80°C .

Это согласуется с данными исследования растяжения образцов из этих же сталей: у состаренных образцов значения S_k и ψ , описывающие заключительные стадии пластического течения перед разрушением, сохраняются на том же высоком уровне, что и у образцов, вырезанных из труб. Следовательно, деформационное старение, воздействующее на деформационное поведение металла в начале пластического течения (при σ_T), не может оказывать существенного влияния на параметры трещиностойкости гетерофазных сталей, в которых разрушение происходит после крайне большой пластической деформации. Так, в [1] показано, что у данных сталей уровень ударной вязкости коррелирует с S_k и ψ и не зависит от σ_T (S_T) и σ_B (S_B).

1. Пышминцев И.Ю., Арабей А.Б., Фарбер В.М., Хотинев В.А., Лежнин Н.В. Лабораторные критерии трещиностойкости высокопрочных сталей для газопроводов// ФММ, 2012, т. 113, №4, СС. 411-417.